

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO**  
SITO NEL COMUNE DI ORTA NOVA  
IN PROVINCIA DI FOGGIA

**Valutazione di Impatto Ambientale**

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

**Commissione Tecnica PNRR-PNIEC**

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

**Prot. CIAE: DPE-0007123-P-10/08/2020**

Idea progettuale, modello insediativo e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Elaborazioni grafiche: **Eclettico Design**

Assistenza legale: **Studio Legale Sticchi Damiani**

**Progettisti:**

Responsabili VIA: **CRETA S.r.l.**

**Arch. Sandra Vecchietti**

**Arch. Filippo Boschi**

**Arch. Anna Trazzi**

**Arch. Giulia Bortolotto**

**Arch. Mattia Zannoni**

**Contributi specialistici:**

Acustica: **Dott. Gabriele Totaro**

Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**

Agronomia: **Dott. Agr. Giuseppe Palladino**

Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**

Archeologia: **Dott.ssa Michela Rugge**

Asseverazione PEF: **Omnia Fiduciaria S.r.l.**

Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**

Geologia: **Geol. Pietro Pepe**

Idraulica: **Ing. Luigi Fanelli**

Piano Economico Finanziario: **Dott. Marco Marincola**

Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccarisi**

Cartella	VIA_3/	Identificatore:	<b>Relazione Geotecnica Area SU</b>
Sottocartella	DOC_SPECIALIS/	<b>DOCSPEC21</b>	
Descrizione	Relazione Geotecnica Area SU		

Nome del file:	Tipologia	Scala
DOCSPEC21.pdf	Relazione	-

**Autori elaborato:** Ing. Fabio Calcarella

Rev.	Data	Descrizione
00	01/02/2022	Prima emissione
01		
02		

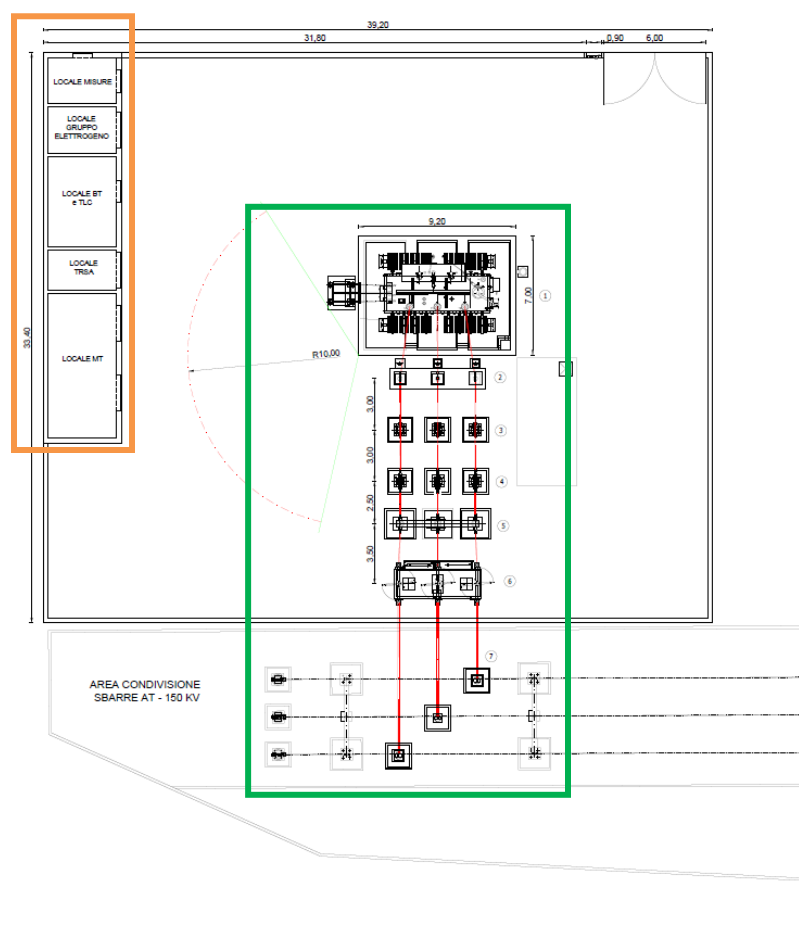
**Spazio riservato agli Enti:**

1. PREMESSA.....	2
2. INDAGINI IN SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....	3
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	4
4. CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI .....	4
5. CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU ROCCIA.....	8
6. VERIFICA A ROTTURA PER SCORRIMENTO DI FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	9
7. DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI INDOTTE NEL TERRENO.....	10
8. CALCOLO DEI CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE.....	11
9. SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO .....	12
10. PARAMETRI DI CALCOLO .....	14
11. ARCHIVIO STRATIGRAFIE .....	15
12. ARCHIVIO TERRENI .....	15
13. DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	15
14. VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	18
15. VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	19

## 1. PREMESSA

La finalità della presente relazione è quella di definire il comportamento meccanico del volume di terreno e gli aspetti geotecnici relativi alle strutture di fondazione utili per la progettazione definitiva della nuova SU 30/150 kV di trasformazione e consegna, sita nel comune di Manfredonia (FG), a servizio dell'impianto agrivoltaico da ubicarsi nei territori comunali di Orta Nova in Provincia di Foggia.

In particolare, in questa relazione, saranno indagate le strutture di fondazione relative all'area di ubicazione della Stazione Utente (SU) con particolare riferimento alle fondazioni profonde costituite da una platea su pali per il locale tecnico e plinti per le apparecchiature elettromeccaniche.



***Area della Stazione Utente (in arancione l'edificio servizi, in verde sbarre e stallo)***

## 2. INDAGINI IN SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

### Pericolosità sismica

La definizione della pericolosità sismica di base secondo le NTC 2018 si determina attraverso un griglia regolare che copre tutto il territorio nazionale. Nei nodi della griglia l'INGV ha calcolato l'accelerazione sismica massima attesa e in conformità a quest'ultima sono calcolati i parametri di pericolosità sismica.

**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

Nota: per il calcolo dei parametri sismici  
 1) inserire le coordinate geografiche    2) introdurre Vn e Cu

Per le isole è possibile utilizzare come località: gruppo isole N  
 [con N = 1,2,3,4,5]

Vertici della maglia elementare INGV [riferimento WGS84]			
Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza [km]
29673	15.898	41.610	1.662
29674	15.965	41.608	5.007
29452	15.967	41.658	6.239
29451	15.900	41.660	4.154

Coordinate geografiche [riferimento WGS84]	
Località:	MANFREDONIA (FG)
Longitudine:	15.9080
Latitudine:	41.6230
<input type="button" value="RSL"/>	

Parametri per le forme spettrali					
	Pver	Tr	ag [g]	Fo	T*c
SLO	81	30	0.0535	2.462	0.270
SLD	63	50	0.0705	2.490	0.290
SLV	10	475	0.1958	2.463	0.335
SLC	5	975	0.2596	2.437	0.340

Periodo di riferimento per l'azione sismica			
Vita Vn [anni]	Coefficiente uso Cu	Periodo Vr [anni]	Livello di sicurezza
50	1	50	100

### 3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

In quanto di seguito riportato viene fatto esplicito riferimento alle seguenti Normative:

- **LEGGE n° 64 del 02/02/1974.** "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.";
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988.** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.";
- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996.** "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.";
- **Circolare Ministeriale LL.PP. n° 65/AA.GG. del 10/04/1997.** "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/1996.";
- **Eurocodice 1 - Parte 1** - "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Basi di calcolo -.";
- **Eurocodice 7 - Parte 1** - "Progettazione geotecnica - Regole generali -.";
- **Eurocodice 8 - Parte 5** - "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici -.";
- **D.M. 17/01/2018 - NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019**

### 4. CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI

Per la determinazione del carico limite del complesso terreno-fondazione (inteso come valore asintotico del diagramma carico-cedimento) si fa riferimento a due principali meccanismi di rottura: il "meccanismo generale" e quello di "punzonamento". Il primo è caratterizzato dalla formazione di una superficie di scorrimento: il terreno sottostante la fondazione rifluisce lateralmente e verso l'alto, conseguentemente il terreno circostante la fondazione è interessato da un meccanismo di sollevamento ed emersione della superficie di scorrimento. Il secondo meccanismo è caratterizzato dall'assenza di una superficie di scorrimento ben definita: il terreno sotto la fondazione si comprime ed in corrispondenza della superficie del terreno circostante la fondazione si osserva un abbassamento generalizzato. Quest'ultimo meccanismo non consente una precisa individuazione del carico limite in quanto la curva cedimenti-carico applicato non raggiunge mai un valore asintotico ma cresce indefinitamente. Vesic ha studiato il fenomeno della rottura per punzonamento assimilando il terreno ad un mezzo elasto-plastico e la rottura per carico limite all'espansione di una cavità cilindrica. In questo caso il fenomeno risulta retto da un indice di rigidezza " $I_r$ " così definito:

$$I_r = \frac{G}{c' + \sigma' \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}$$

Per la determinazione del modulo di rigidezza a taglio si utilizzeranno le seguenti relazioni:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}; \quad E = E_{ed} \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}; \quad \nu = \frac{k_0}{1 + k_0}; \quad k_0 = 1 - \operatorname{sen}(\varphi)$$

L'indice di rigidezza viene confrontato con l'indice di rigidezza critico " $I_{r,crit}$ ":

$$I_{r,crit} = \frac{e^{\left[ \left( 3.3 - 0.45 \frac{B}{L} \right) \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}}{2}$$

La rottura per punzonamento del terreno di fondazione avviene quando l'indice di rigidezza è minore di quello critico. Tale teoria comporta l'introduzione di coefficienti correttivi all'interno della formula trinomia del carico limite detti "coefficienti di punzonamento" i quali sono funzione dell'indice di rigidezza, dell'angolo d'attrito e della geometria dell'elemento di fondazione. La loro espressione è la seguente:

- se  $I_r < I_{r,crit}$  si ha :

$$\Psi_\gamma = \Psi_q = e^{\left[ \left( 0.6 \frac{B}{L} - 4.4 \right) \text{tg}(\varphi) + \frac{3.07 \cdot \text{sen}(\varphi) \log_{10}(2I_r)}{1 + \text{sen}(\varphi)} \right]} \quad \text{se } \varphi = 0 \Rightarrow \Psi_\gamma = \Psi_q = 1$$

$$\Psi_c = \Psi_q - \frac{1 - \Psi_q}{N_c \cdot \text{tg}(\varphi)} \quad \text{se } \varphi = 0 \Rightarrow \Psi_c = 0.32 + 0.12 \cdot \frac{B}{L} + 0.6 \cdot \log_{10}(I_r)$$

- se  $I_r > I_{r,crit}$  si ha che  $\psi_\gamma = \psi_q = \psi_c = 1$ .

Il significato dei simboli adottati nelle equazioni sopra riportate è il seguente:

- $E_{ed}$  modulo edometrico del terreno sottostante la fondazione
- $\nu$  coefficiente di Poisson del terreno sottostante la fondazione
- $k_0$  coefficiente di spinta a riposo del terreno sottostante la fondazione
- $\varphi$  angolo d'attrito efficace del terreno sottostante il piano di posa
- $c'$  coesione (espressa in termini di tensioni efficaci)
- $\sigma'$  tensione litostatica effettiva a profondità  $D+B/2$
- $L$  luce delle singole travi di fondazione
- $D$  profondità del piano di posa della fondazione a partire dal piano campagna
- $B$  larghezza della trave di fondazione

Definito il meccanismo di rottura, il calcolo del carico limite viene eseguito modellando il terreno come un mezzo rigido perfettamente plastico con la seguente espressione:

$$q_{ult} = \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot \Psi_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot \Psi_c + \gamma_2 \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$

Il significato dei termini presenti nella relazione trinomia sopra riportata è il seguente:

- $N_q, N_c, N_\gamma$ , fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno  $\varphi$  del terreno
- $s_q, s_c, s_\gamma$ , coefficienti che rappresentano il fattore di forma
- $d_q, d_c, d_\gamma$ , coefficienti che rappresentano il fattore dell'approfondimento
- $i_q, i_c, i_\gamma$ , coefficienti che rappresentano il fattore di inclinazione del carico
- $\gamma_1$  peso per unità di volume del terreno sovrastante il piano di posa
- $\gamma_2$  peso per unità di volume del terreno sottostante il piano di posa

Per fondazioni aventi larghezza modesta si dimostra che il terzo termine non aumenta indefinitamente e per valori elevati di "B", sia secondo Vesic che secondo de Beer, il valore limite è prossimo a quello di una fondazione profonda. Bowles per fondazioni di larghezza maggiore di 2.00 metri propone il seguente fattore riduttivo:

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \cdot \log_{10} \left( \frac{B}{2} \right) \quad \text{dove "B" va espresso in metri.}$$

Questa relazione risulta particolarmente utile per fondazioni larghe con rapporto D/B basso (platee e simili), caso nel quale il terzo termine dell'equazione trinomia è predominante.

Nel caso di carico eccentrico Meyerhof consiglia di ridurre le dimensioni della superficie di contatto ( $A_f$ ) tra fondazione e terreno (B, L) in tutte le formule del calcolo del carico limite. Tale riduzione è espressa dalle seguenti relazioni:

$$B_{rid} = B - 2 \cdot e_B \quad L_{rid} = L - 2 \cdot e_L \quad \text{dove } e_B, e_L \text{ sono le eccentricità relative alle dimensioni in esame.}$$

L'equazione trinomia del carico limite può essere risolta secondo varie formulazioni, di seguito si riportano quelle che sono state implementate:

#### Formulazione di Hansen (1970)

$$N_q = \text{tg}^2 \left( \frac{90^\circ + \varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \text{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = 1 + \frac{N_q \cdot B}{N_c \cdot L}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

dove: se  $\frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}$ , se  $\frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{B}\right)$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{\alpha_1} \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{\alpha_2} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 0.5 \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}} \right)$$

### Formulazione di Vesic (1975)

$$N_q = \operatorname{tg}^2\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = 1 + \frac{N_q \cdot B}{N_c \cdot L}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

dove: se  $\frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}$ , se  $\frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{B}\right)$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^m \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{m+1} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

dove:  $m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad m = m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

### Formulazione di Brinch-Hansen

$$N_q = \operatorname{tg}^2\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + 0.1 \cdot \frac{B \cdot (1 + \sin(\varphi))}{L \cdot (1 - \sin(\varphi))} \quad s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot \frac{B \cdot (1 + \sin(\varphi))}{L \cdot (1 - \sin(\varphi))} \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B \cdot (1 + \sin(\varphi))}{L \cdot (1 - \sin(\varphi))}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}$$

$$\text{dove: se } \frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}, \text{ se } \frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{B}\right)$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^m \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{m+1} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$\text{dove: } m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad m = m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

### Formulazione Eurocodice 7

$$N_q = \operatorname{tg}^2\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin(\varphi) \quad s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = \frac{s_q \cdot (N_q - 1)}{N_q - 1}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$\text{dove: se } \frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}, \text{ se } \frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{B}\right)$$

- se H è parallela al lato B si ha:

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^3 \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^3 \quad i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

- se H è parallela al lato L si ha:

$$i_q = 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \quad i_\gamma = 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \quad i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 0.5 \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}} \right)$$



Si ricorda che per le relazioni sopra riportate nel caso in cui  $\varphi = 0 \Rightarrow N_q = 1.0, N_\gamma = 1.0$  e  $N_c = 2+\pi$ .  
Il significato dei termini presenti nelle relazioni su descritte è il seguente:

- $V$  componente verticale del carico agente sulla fondazione
- $H$  componente orizzontale del carico agente sulla fondazione (sia lungo  $B$  che lungo  $L$ )
- $c_a$  adesione fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione)
- $\alpha_1, \alpha_2$  esponenti di potenza che variano tra 2 e 5

Nel caso in cui il cuneo di fondazione sia interessato da falda idrica il valore di  $\gamma_2$  nella formula trinomia assume la seguente espressione:

$$\gamma_2 = \frac{\gamma \cdot z + \gamma_{sat} \cdot (h_c - z)}{h_c} \quad h_c = \frac{B}{2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90 + \varphi}{2}\right)$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $\gamma$  peso per unità di volume del terreno sottostante il piano di posa
- $\gamma_{sat}$  peso per unità di volume saturo del terreno sottostante il piano di posa
- $z$  profondità della falda dal piano di posa
- $h_c$  altezza del cuneo di rottura della fondazione

Tutto ciò che è stato detto sopra è valido nell'ipotesi di terreno con caratteristiche geotecniche omogenee. Nella realtà i terreni costituenti il piano di posa delle fondazioni sono quasi sempre composti, o comunque riconducibili, a formazioni di terreno omogenee di spessore variabile che si sovrappongono (caso di terreni stratificati). In queste condizioni i parametri vengono determinati con la seguente procedura:

- viene determinata l'altezza del cuneo di rottura in funzione delle caratteristiche geotecniche degli strati attraversati; quindi si determinano il numero degli strati interessati da esso
- in corrispondenza di ogni superficie di separazione, partendo da quella immediatamente sottostante il piano di posa della fondazione, fino a raggiungere l'altezza del cuneo di rottura, viene determinata la capacità portante di ogni singolo strato come somma di due valori: il primo dato dall'applicazione della formula trinomia alla quota  $i$ -esima dello strato; il secondo dato dalla resistenza al punzonamento del terreno sovrastante lo strato in esame
- il minimo di questi due valori sarà assunto come valore massimo della capacità portante della fondazione stratificata

Si può formulare il procedimento anche in forma analitica:

$$q'_{ult} = [q''_{ult} + q_{resT}]_{\min} = \left[ q''_{ult} + \frac{P}{A_f} (P_V \cdot K_S \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + d \cdot c) \right]_{\min}$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $q''_{ult}$  carico limite per un'ipotetica fondazione posta alla quota dello strato interessato
- $p$  perimetro della fondazione
- $P_V$  spinta verticale del terreno dal piano di posa allo strato interessato
- $K_S$  coefficiente di spinta laterale del terreno
- $d$  distanza dal piano di posa allo strato interessato

## 5. CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU ROCCIA

Per la determinazione del carico limite nel caso di presenza di ammasso roccioso bisogna valutare molto attentamente il grado di solidità della roccia stessa. Tale valutazione viene in genere eseguita stimando l'indice  $RQD$  (Rock Quality Designation) che rappresenta una misura della qualità di un ammasso roccioso. Tale indice può variare da un minimo di 0 (caso in cui la lunghezza dei pezzi di roccia estratti dal carotiere è inferiore a 100 mm) ad un massimo di 1 (caso in cui la carota risulta integra) ed è calcolato nel seguente modo:

$$RQD = \frac{\sum \text{lunghezze dei pezzi di roccia intatta} > 100\text{mm}}{\text{lunghezza del carotiere}}$$

Se il valore di  $RQD$  è molto basso la roccia è molto fratturata ed il calcolo della capacità portante dell'ammasso roccioso va condotto alla stregua di un terreno sciolto utilizzando tutte le formulazioni sopra descritte.

Per ricavare la capacità portante di rocce non assimilabili ad ammassi di terreno sciolto sono state implementate due formulazioni: quella di Terzaghi (1943) e quella di Stagg-Zienkiewicz (1968), entrambe correlate all'indice  $RQD$ . In definitiva il valore della capacità portante sarà espresso dalla seguente relazione:

$$q'_{ult} = q''_{ult} \cdot RQD^2$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $q'_{ult}$  carico limite dell'ammasso roccioso
- $q''_{ult}$  carico limite calcolato alla Terzaghi o alla Stagg-Zienkiewicz

In questo caso l'equazione trinomia del carico limite assume la seguente forma:

$$q''_{ult} = \gamma_1 \cdot D \cdot N_q + c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma_2 \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

I termini presenti nell'equazione hanno lo stesso significato già visto in precedenza; i coefficienti di forma assumeranno i seguenti valori:

- $s_c = 1.0$  per fondazioni di tipo nastriforme
- $s_c = 1.3$  per fondazioni di tipo quadrato;
- $s_\gamma = 1.0$  per fondazioni di tipo nastriforme
- $s_\gamma = 0.8$  per fondazioni di tipo quadrato.

I fattori adimensionali di portanza a seconda della formulazione adottata saranno:

#### Formulazione di Terzaghi (1943)

$$N_q = \frac{e^{2 \left( 0.75 \pi - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \text{tg}(\varphi)}}{2 \cdot \cos^2 \left( \frac{90^\circ + \varphi}{2} \right)} \quad N_\gamma = \frac{\text{tg}(\varphi)}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2(\varphi)} - 1 \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\varphi)$$

se  $\varphi = 0 \Rightarrow N_c = 1.5 \cdot \pi + 1$

$\varphi$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$K_{p\gamma}$	10.8	12.2	14.7	18.6	25.0	35.0	52.0	82.0	141.0	298.0	800.0

#### Formulazione di Stagg-Zienkiewicz (1968)

$$N_q = \text{tg}^6 \left( \frac{90^\circ + \varphi}{2} \right) \quad N_\gamma = N_q + 1 \quad N_c = 5 \cdot \text{tg}^4 \left( \frac{90^\circ + \varphi}{2} \right)$$

## 6. VERIFICA A ROTTURA PER SCORRIMENTO DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

Se il carico applicato alla base della fondazione non è normale alla stessa bisogna effettuare anche una verifica per rottura a scorrimento. Rispetto al collasso per scorrimento la resistenza offerta dal sistema fondale viene valutata come somma di due componenti: la prima derivante dall'attrito fondazione-terreno, la seconda derivante dall'adesione. In generale, oltre a queste due componenti, può essere tenuto in conto anche l'effetto della spinta passiva del terreno di ricoprimento esercita sulla fondazione fino ad un massimo del 30%. La formulazione analitica della verifica può essere esposta nel seguente modo:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd} = N_{Sd} \cdot \text{tg}(\delta) + A_f \cdot c_a + S_p \cdot f_{Sp}$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $T_{Sd}$  componente orizzontale del carico agente sulla fondazione (sia lungo B che lungo L)
- $N_{Sd}$  componente verticale del carico agente sulla fondazione
- $c_a$  adesione fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione)
- $\delta$  angolo d'attrito fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione)
- $S_p$  spinta passiva del terreno di ricoprimento della fondazione
- $f_{Sp}$  percentuale di partecipazione della spinta passiva
- $A_f$  superficie di contatto del piano di posa della fondazione

La verifica deve essere effettuata sia per componenti taglianti parallele alla base della fondazione che per quelle ortogonali.

## 7. DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI INDOTTE NEL TERRENO

Ai fini del calcolo dei cedimenti è essenziale conoscere lo stato tensionale indotto nel terreno a varie profondità da un carico applicato in superficie. Tale determinazione viene eseguita ipotizzando che il terreno si comporti come un mezzo continuo, elastico-lineare, omogeneo e isotopo. Tale assunzione, utilizzata per la determinazione della variazione delle tensioni verticali dovuta all'applicazione di un carico in superficie, è confortata dalla letteratura (Morgenstern e Phukan) perché la non linearità del materiale poco influenza la distribuzione delle tensioni verticali. Per ottenere un profilo verticale di pressioni si possono utilizzare tre metodi di calcolo: quello di Boussinesq, quello di Westergaard oppure quello di Mindlin; tutti basati sulla teoria del continuo elastico. Il metodo di Westergaard differisce da quello di Boussinesq per la presenza del coefficiente di Poisson "ν", quindi si adatta meglio ai terreni stratificati. Il metodo di Mindlin differisce dai primi due per la possibilità di posizionare il carico all'interno del continuo elastico mentre i primi due lo pongono esclusivamente sulla frontiera quindi si presta meglio al caso di fondazioni molto profonde. Nel caso di fondazioni poste sulla frontiera del continuo elastico il metodo di Mindlin risulta equivalente a quello di Boussinesq. Le espressioni analitiche dei tre metodi di calcolo sono:

$$\text{Boussinesq} \Rightarrow \Delta\sigma_v = \frac{3 \cdot Q \cdot z^3}{2 \cdot \pi \cdot (r^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} \quad \text{Westergaard} \Rightarrow \Delta\sigma_v = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot z^2} \cdot \frac{\sqrt{1-2 \cdot \nu}}{\sqrt{2-2 \cdot \nu}} \cdot \left( \frac{1-2 \cdot \nu}{2-2 \cdot \nu} + \frac{r^2}{z^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $Q$  carico puntiforme applicato sulla frontiera del mezzo
- $r$  proiezione orizzontale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame
- $z$  proiezione verticale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame

$$\text{Mindlin} \Rightarrow \Delta\sigma_v = \frac{Q}{8 \cdot \pi \cdot (1-\nu) \cdot D^2} \left( \frac{(1-2 \cdot \nu) \cdot (m-1)}{A^3} + \frac{(1-2 \cdot \nu) \cdot (m-1)}{B^3} - \frac{3 \cdot (m-1)^3}{A^5} - \frac{30 \cdot m \cdot (m+1)^3}{B^7} - \frac{3 \cdot (3-4 \cdot \nu) \cdot m \cdot (m+1)^2 - 3 \cdot (m+1) \cdot (5 \cdot m-1)}{B^5} \right)$$

$$n = \frac{r}{D}; \quad m = \frac{z}{D}; \quad A^2 = n^2 + (m-1)^2; \quad B^2 = n^2 + (m+1)^2$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $Q$  carico puntiforme applicato sulla frontiera o all'interno del mezzo
- $D$  proiezione verticale della distanza del punto di applicazione del carico dalla frontiera del mezzo
- $r$  proiezione orizzontale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame
- $z$  proiezione verticale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame

Basandosi sulle ben note equazioni ricavate per un carico puntiforme, l'algoritmo implementato esegue un'integrazione delle equazioni di cui sopra lungo la verticale di ogni punto notevole degli elementi fondali estesa a tutte le aree di carico presenti sulla superficie del terreno; questo consente di determinare la variazione dello stato tensionale verticale " $\Delta\sigma_v$ ". Bisogna sottolineare che, nel caso di pressione, "Q" va definito come "pressione netta", ossia la pressione in eccesso rispetto a quella geostatica esistente che può essere sopportata con sicurezza alla profondità "D" del piano di posa delle fondazioni. Questo perché i cedimenti sono causati solo da incrementi netti di pressione che si aggiungono all'esistente pressione geostatica.

## 8. CALCOLO DEI CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE

La determinazione dei cedimenti delle fondazioni assume una rilevanza notevole per il manufatto da realizzarsi, in special modo nella fase di esercizio. Nell'evolversi della fase di cedimento il terreno passa da uno stato di sforzo corrente dovuto al peso proprio ad uno nuovo dovuto all'effetto del carico addizionale applicato. Questa variazione dello stato tensionale produce una serie di movimenti di rotolamento e scorrimento relativo tra i granuli del terreno, nonché deformazioni elastiche e rotture delle particelle costituenti il mezzo localizzate in una limitata zona d'influenza a ridosso dell'area di carico. L'insieme di questi fenomeni costituisce il cedimento che nel caso in esame è verticale. Nonostante la frazione elastica sia modesta, l'esperienza ha dimostrato che ai fini del calcolo dei cedimenti modellare il terreno come materiale pseudoelastico permette di ottenere risultati soddisfacenti. In letteratura sono descritti diversi metodi per il calcolo dei cedimenti ma si ricorda che, qualunque sia il metodo di calcolo, la determinazione del valore del cedimento deve intendersi come la miglior stima delle deformazioni subite dal terreno da attendersi all'applicazione dei carichi. Nel seguito vengono descritte le teorie implementate:

**Metodo edometrico**, che si basa sulla nota relazione:

$$w_{ed} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma_{v,i}}{E_{ed,i}} \cdot \Delta z_i$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $\Delta\sigma_{v,i}$  variazione dello stato tensionale verticale alla profondità "z<sub>i</sub>" dello strato i-esimo per l'applicazione del carico
- $E_{ed,i}$  modulo edometrico del terreno relativo allo strato i-esimo
- $\Delta z_i$  spessore dello strato i-esimo

Si ricorda che questo metodo si basa sull'ipotesi edometrica quindi l'accuratezza del risultato è maggiore quando il rapporto tra lo spessore dello strato deformabile e la dimensione in pianta delle fondazioni è ridotto, tuttavia il metodo edometrico consente una buona approssimazione anche nel caso di strati deformabili di spessore notevole.

**Metodo dell'elasticità**, che si basa sulle note relazioni:

$$w_{imp.} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma_{v,i}}{E_i} \cdot \Delta z_i \quad w_{Lib.} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma_{v,i}}{E_i} \cdot \frac{1-2 \cdot \nu^2}{1-\nu} \cdot \Delta z_i$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $w_{imp.}$  cedimento in condizioni di deformazione laterale impedita
- $w_{Lib.}$  cedimento in condizioni di deformazione laterale libera
- $\Delta\sigma_{v,i}$  variazione stato tensionale verticale alla profondità "z<sub>i</sub>" dello strato i-esimo per l'applicazione del carico
- $E_i$  modulo elastico del terreno relativo allo strato i-esimo
- $\Delta z_i$  spessore dello strato i-esimo

La doppia formulazione adottata consente di ottenere un intervallo di valori del cedimento elastico per la fondazione in esame (valore minimo per  $w_{imp.}$  e valore massimo per  $w_{Lib.}$ ).

## 9. SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO

Per maggior chiarezza nella lettura dei tabulati di calcolo viene riportata la descrizione dei simboli principali utilizzati nella stesura degli stessi. Per comodità di lettura la legenda è suddivisa in paragrafi con la stessa modalità in cui sono stampati i tabulati di calcolo.

### ***Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni superficiali***

*per tipologie travi e plinti superficiali:*

- Indice Strat. indice della stratigrafia associata all'elemento
- Prof. Fon. profondità del piano di posa dell'elemento a partire dal piano campagna
- Base larghezza della sezione trasversale dell'elemento
- Altezza altezza della sezione trasversale dell'elemento
- Lung. Elem. dimensione dello sviluppo longitudinale dell'elemento
- Lung. Travata nel caso l'elemento appartenga ad un macroelemento, rappresenta la dimensione dello sviluppo longitudinale del macroelemento

*per tipologia platea:*

- Indice Strat. indice della stratigrafia associata all'elemento
- Prof. Fon. profondità del piano di posa dell'elemento dal piano campagna
- Dia. Eq. diametro del cerchio equivalente alla superficie dell'elemento
- Spessore spessore dell'elemento
- Superficie superficie dell'elemento
- Vert. Elem. Numero dei vertici che costituiscono l'elemento
- Macro nel caso l'elemento appartenga ad un macroelemento, rappresenta il numero del macroelemento

Nel caso si avesse scelto di determinare la portanza anche per gli elementi platea è presente un'ulteriore riga nella quale sono riportate le caratteristiche geometriche del plinto equivalente alla macro/platea in esame.

### ***Dati di carico degli elementi costituenti le fondazioni superficiali***

*per tipologie travi e plinti superficiali:*

- Cmb numero della combinazione di carico
- Tipologia tipologia della combinazione di carico
- Sismica flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- Ecc. B eccentricità del carico normale agente sul piano di fondazione in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento
- Ecc. L eccentricità del carico normale agente sul piano di fondazione in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento
- S.Taglio B sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento
- S.Taglio L sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento
- S.Normale carico normale agente sul piano di fondazione
- T.T.min minimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale
- T.T.max massimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale

*per tipologia platea:*

- Cmb numero della combinazione di carico
- Tipologia tipologia della combinazione di carico
- Sismica flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- Press. N1 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 1 dell'elemento
- Press. N2 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 2 dell'elemento
- Press. N3 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 3 dell'elemento
- Press. N4 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 4 dell'elemento
- S.Taglio X sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela all'asse X del riferimento globale
- S.Taglio Y sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela all'asse Y del riferimento globale

Nel caso si avesse scelto di determinare la portanza anche per gli elementi platea è presente un ulteriore riga nella quale sono riportate le macroazioni (integrale delle azioni applicate sui singoli elementi che compongono la platea) agenti sul plinto equivalente alla macro/platea in esame.

#### **Valori di calcolo della portanza per fondazioni superficiali**

- Cmb numero della combinazione di carico
- Qlim capacità portante totale data dalla somma di Qlim q, Qlim g, Qlim c e di Qres P (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla portanza ammissibile)
- Qlim q termine relativo al sovraccarico della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qlim g termine relativo alla larghezza della base di fondazione della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qlim c termine relativo alla coesione della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qres P termine relativo alla resistenza al punzonamento del terreno sovrastante lo strato di rottura. Diverso da zero solo nel caso di terreni stratificati dove lo strato di rottura è diverso dal primo (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qmax / Qlim rapporto tra il massimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale ed il valore della capacità portante (verifica positiva se il rapporto è < 1.0).
- TBlim valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento
- TB / TBlim rapporto tra lo sforzo di taglio agente ed il valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- TLLim valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento
- TL / TLLim rapporto tra lo sforzo di taglio agente ed il valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- Sgm. Lt. tensione litostatica agente alla quota del piano di posa dell'elemento fondale

Nel caso si avesse scelto di determinare la portanza anche per gli elementi platea è presente un ulteriore riga nella quale sono riportate le verifiche di portanza del plinto equivalente alla macro/platea in esame.

#### **Valori di calcolo dei cedimenti per fondazioni superficiali**

- Cmb numero della combinazione di carico e tipologia
- Nodo vertice dell'elemento in cui viene calcolato il cedimento
- Car. Netto valore del carico netto applicato sulla superficie del terreno
- Cedimento/i valore del cedimento (nel caso di calcolo di cedimenti elastici i valori riportati sono due, il primo corrisponde al cedimento  $w_{imp.}$ , mentre il secondo al cedimento  $w_{Lib.}$ )

## 10. PARAMETRI DI CALCOLO

### Metodi di calcolo della portanza per fondazioni superficiali:

- Per terreni sciolti: Vesic
- Per terreni lapidei: Terzaghi

### Fattori utilizzati per il calcolo della portanza per fondazioni superficiali :

- Riduzione dimensioni per eccentricità: si
- Fattori di forma della fondazione: si
- Fattori di profondità del piano di posa: si
- Fattori di inclinazione del carico: si
- Fattori di punzonamento (Vesic): si
- Fattore riduzione effetto piastra (Bowles): si
- Fattore di riduzione dimensione Base equivalente platea: 20,0 %
- Fattore di riduzione dimensione Lunghezza equivalente platea: 20,0 %

### Coefficienti parziali di sicurezza per Tensioni Ammissibili, SLE nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali:

- Coeff. parziale di sicurezza  $F_c$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_q$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_g$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_c$  (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_q$  (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_g$  (sismico): 3,00

### Combinazioni di carico:

#### APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)

Coefficienti parziali di sicurezza per SLU nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali :

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $c'$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $C_u$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (sismico): 1
- Coeff. M1 per  $c'$  (sismico): 1
- Coeff. M1 per  $C_u$  (sismico): 1
  
- Coeff. R3 capacità portante (statico e sismico): 2,30
- Coeff. R3 scorrimento (statico e sismico): 1,10

### Parametri per la verifica a scorrimento delle fondazioni superficiali:

- Fattore per l'adesione ( $6 < Ca < 10$ ): 8
- Fattore per attrito terreno-fondazione ( $5 < \Delta < 10$ ): 7
- Frazione di spinta passiva  $f_{Sp}$ : 50,00 %
- Coeff. resistenza sulle sup. laterali: 1,30

### Metodi e parametri per il calcolo dei cedimenti delle fondazioni superficiali:

- Metodo di calcolo tensioni superficiali: Boussinesq
- Modalità d'interferenza dei bulbi tensionali: Boussinesq
- Metodo di calcolo dei cedimenti del terreno: cedimenti edometrici

## 11. ARCHIVIO STRATIGRAFIE

Indice / Descrizione: 001 / Nuova stratigrafia n. 1

Numero strati: 1

Profondità falda: assente

Strato n.	Quota di riferimento	Spessore	Indice / Descrizione terreno	Attrito Neg.
1	da 0,0 a -1000,0 cm	1000,0 cm	001 / Ghiaia e sabbia sciolta	Assente

## 12. ARCHIVIO TERRENI

Indice / Descrizione terreno: **001 / Ghiaia e sabbia sciolta**

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	Gradi°	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	%	
1,800 E-3	2,000 E-3	30,000	0,000	133,500	200,000	60,0	0,333	1,00

## 13. DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI SUPERFICIALI

Elemento n.	Tipologia	Id.Strat.	Prof. Fon. cm	Dia. Eq. cm	Spessore cm	Superficie cm <sup>2</sup>	Vertici n. per elem.	Macro n.
Platea n. 1	Platea	001	20.000	94.230	40.000	6973.720	4	1
Platea n. 2	Platea	001	20.000	91.129	40.000	6522.366	4	1
Platea n. 3	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.300	4	1
Platea n. 4	Platea	001	20.000	102.076	40.000	8183.424	4	1
Platea n. 5	Platea	001	20.000	94.323	40.000	6987.571	4	1
Platea n. 6	Platea	001	20.000	94.336	40.000	6989.407	4	1
Platea n. 7	Platea	001	20.000	105.015	40.000	8661.468	4	1
Platea n. 8	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 9	Platea	001	20.000	91.330	40.000	6551.078	4	1
Platea n. 10	Platea	001	20.000	100.892	40.000	7994.788	4	1
Platea n. 11	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.268	4	1
Platea n. 12	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 13	Platea	001	20.000	101.052	40.000	8020.145	4	1
Platea n. 14	Platea	001	20.000	90.400	40.000	6418.378	4	1
Platea n. 15	Platea	001	20.000	91.693	40.000	6603.300	4	1
Platea n. 16	Platea	001	20.000	92.930	40.000	6782.613	4	1
Platea n. 17	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.273	4	1
Platea n. 18	Platea	001	20.000	94.300	40.000	6984.193	4	1
Platea n. 19	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 20	Platea	001	20.000	88.658	40.000	6173.479	4	1
Platea n. 21	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 22	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.273	4	1
Platea n. 23	Platea	001	20.000	93.925	40.000	6928.688	4	1
Platea n. 24	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.747	4	1
Platea n. 25	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 26	Platea	001	20.000	101.500	40.000	8091.323	4	1
Platea n. 27	Platea	001	20.000	94.545	40.000	7020.486	4	1
Platea n. 28	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 29	Platea	001	20.000	94.300	40.000	6984.183	4	1
Platea n. 30	Platea	001	20.000	92.215	40.000	6678.788	4	1
Platea n. 31	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 32	Platea	001	20.000	90.648	40.000	6453.679	4	1



## Dott. Ing. Fabio CALCARELLA

Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce  
P. IVA 04433020759

---

Platea n. 33	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 34	Platea	001	20.000	93.379	40.000	6848.410	4	1
Platea n. 35	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.746	4	1
Platea n. 36	Platea	001	20.000	90.876	40.000	6486.233	4	1
Platea n. 37	Platea	001	20.000	91.804	40.000	6619.247	4	1
Platea n. 38	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 39	Platea	001	20.000	88.684	40.000	6176.975	4	1
Platea n. 40	Platea	001	20.000	88.658	40.000	6173.468	4	1
Platea n. 41	Platea	001	20.000	93.407	40.000	6852.441	4	1
Platea n. 42	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.269	4	1
Platea n. 43	Platea	001	20.000	90.638	40.000	6452.215	4	1
Platea n. 44	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 45	Platea	001	20.000	102.645	40.000	8275.022	4	1
Platea n. 46	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.269	4	1
Platea n. 47	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.269	4	1
Platea n. 48	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.297	4	1
Platea n. 49	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.273	4	1
Platea n. 50	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 51	Platea	001	20.000	90.847	40.000	6482.085	4	1
Platea n. 52	Platea	001	20.000	103.908	40.000	8479.881	4	1
Platea n. 53	Platea	001	20.000	95.573	40.000	7173.931	4	1
Platea n. 54	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 55	Platea	001	20.000	91.056	40.000	6511.937	4	1
Platea n. 56	Platea	001	20.000	91.279	40.000	6543.769	4	1
Platea n. 57	Platea	001	20.000	103.354	40.000	8389.733	4	1
Platea n. 58	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 59	Platea	001	20.000	91.831	40.000	6623.168	4	1
Platea n. 60	Platea	001	20.000	98.844	40.000	7673.483	4	1
Platea n. 61	Platea	001	20.000	96.700	40.000	7344.167	4	1
Platea n. 62	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.300	4	1
Platea n. 63	Platea	001	20.000	89.829	40.000	6337.578	4	1
Platea n. 64	Platea	001	20.000	94.300	40.000	6984.182	4	1
Platea n. 65	Platea	001	20.000	105.396	40.000	8724.490	4	1
Platea n. 66	Platea	001	20.000	97.710	40.000	7498.458	4	1
Platea n. 67	Platea	001	20.000	105.396	40.000	8724.486	4	1
Platea n. 68	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 69	Platea	001	20.000	69.575	40.000	3801.872	4	1
Platea n. 70	Platea	001	20.000	91.938	40.000	6638.595	4	1
Platea n. 71	Platea	001	20.000	94.300	40.000	6984.192	4	1
Platea n. 72	Platea	001	20.000	94.300	40.000	6984.183	4	1
Platea n. 73	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 74	Platea	001	20.000	91.864	40.000	6628.000	4	1
Platea n. 75	Platea	001	20.000	90.013	40.000	6363.498	4	1
Platea n. 76	Platea	001	20.000	90.648	40.000	6453.680	4	1
Platea n. 77	Platea	001	20.000	97.428	40.000	7455.244	4	1
Platea n. 78	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.300	4	1
Platea n. 79	Platea	001	20.000	101.596	40.000	8106.676	4	1
Platea n. 80	Platea	001	20.000	93.503	40.000	6866.552	4	1
Platea n. 81	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 82	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 83	Platea	001	20.000	93.004	40.000	6793.453	4	1
Platea n. 84	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 85	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.273	4	1
Platea n. 86	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 87	Platea	001	20.000	102.802	40.000	8300.267	4	1
Platea n. 88	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 89	Platea	001	20.000	100.598	40.000	7948.253	4	1
Platea n. 90	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.491	4	1
Platea n. 91	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.746	4	1
Platea n. 92	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.750	4	1
Platea n. 93	Platea	001	20.000	94.334	40.000	6989.254	4	1
Platea n. 94	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 95	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.488	4	1
Platea n. 96	Platea	001	20.000	93.523	40.000	6869.510	4	1
Platea n. 97	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 98	Platea	001	20.000	96.704	40.000	7344.826	4	1

---

Cell. +39 340 924 3575

studiocalcarella@gmail.com - fabio.calcarella@gmail.com

## Dott. Ing. Fabio CALCARELLA

Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce  
P. IVA 04433020759

---

Platea n. 99	Platea	001	20.000	88.729	40.000	6183.275	4	1
Platea n. 100	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.749	4	1
Platea n. 101	Platea	001	20.000	97.059	40.000	7398.835	4	1
Platea n. 102	Platea	001	20.000	92.565	40.000	6729.517	4	1
Platea n. 103	Platea	001	20.000	93.363	40.000	6845.985	4	1
Platea n. 104	Platea	001	20.000	98.258	40.000	7582.725	4	1
Platea n. 105	Platea	001	20.000	103.493	40.000	8412.177	4	1
Platea n. 106	Platea	001	20.000	94.757	40.000	7051.972	4	1
Platea n. 107	Platea	001	20.000	71.282	40.000	3990.677	4	1
Platea n. 108	Platea	001	20.000	95.651	40.000	7185.726	4	1
Platea n. 109	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 110	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.750	4	1
Platea n. 111	Platea	001	20.000	89.921	40.000	6350.611	4	1
Platea n. 112	Platea	001	20.000	94.517	40.000	7016.295	4	1
Platea n. 113	Platea	001	20.000	90.824	40.000	6478.753	4	1
Platea n. 114	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.488	4	1
Platea n. 115	Platea	001	20.000	90.400	40.000	6418.379	4	1
Platea n. 116	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 117	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 118	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 119	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.491	4	1
Platea n. 120	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.268	4	1
Platea n. 121	Platea	001	20.000	90.176	40.000	6386.610	4	1
Platea n. 122	Platea	001	20.000	89.461	40.000	6285.755	4	1
Platea n. 123	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.297	4	1
Platea n. 124	Platea	001	20.000	105.396	40.000	8724.486	4	1
Platea n. 125	Platea	001	20.000	105.396	40.000	8724.493	4	1
Platea n. 126	Platea	001	20.000	94.306	40.000	6985.014	4	1
Platea n. 127	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.749	4	1
Platea n. 128	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 129	Platea	001	20.000	93.131	40.000	6812.124	4	1
Platea n. 130	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 131	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 132	Platea	001	20.000	94.334	40.000	6989.255	4	1
Platea n. 133	Platea	001	20.000	88.658	40.000	6173.478	4	1
Platea n. 134	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.749	4	1
Platea n. 135	Platea	001	20.000	93.552	40.000	6873.794	4	1
Platea n. 136	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 137	Platea	001	20.000	94.336	40.000	6989.407	4	1
Platea n. 138	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 139	Platea	001	20.000	71.282	40.000	3990.677	4	1
Platea n. 140	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 141	Platea	001	20.000	100.994	40.000	8010.960	4	1
Platea n. 142	Platea	001	20.000	93.552	40.000	6873.794	4	1
Platea n. 143	Platea	001	20.000	88.658	40.000	6173.469	4	1
Platea n. 144	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.488	4	1
Platea n. 145	Platea	001	20.000	89.461	40.000	6285.756	4	1
Platea n. 146	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 147	Platea	001	20.000	100.153	40.000	7878.000	4	1
Platea n. 148	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.268	4	1
Platea n. 149	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.488	4	1
Platea n. 150	Platea	001	20.000	88.684	40.000	6176.974	4	1
Platea n. 151	Platea	001	20.000	102.709	40.000	8285.247	4	1
Platea n. 152	Platea	001	20.000	103.333	40.000	8386.212	4	1
Platea n. 153	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 154	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 155	Platea	001	20.000	89.958	40.000	6355.796	4	1
Platea n. 156	Platea	001	20.000	71.503	40.000	4015.485	4	1
Platea n. 157	Platea	001	20.000	88.658	40.000	6173.469	4	1
Platea n. 158	Platea	001	20.000	93.856	40.000	6918.593	4	1
Platea n. 159	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 160	Platea	001	20.000	96.807	40.000	7360.447	4	1
Platea n. 161	Platea	001	20.000	91.371	40.000	6557.091	4	1
Platea n. 162	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.746	4	1
Platea n. 163	Platea	001	20.000	88.729	40.000	6183.274	4	1
Platea n. 164	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.269	4	1

---

Cell. +39 340 924 3575

studiocalcarella@gmail.com - fabio.calcarella@gmail.com

Platea n. 165	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.271	4	1
Platea n. 166	Platea	001	20.000	90.106	40.000	6376.721	4	1
Platea n. 167	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 168	Platea	001	20.000	95.251	40.000	7125.667	4	1
Platea n. 169	Platea	001	20.000	93.386	40.000	6849.373	4	1
Platea n. 170	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 171	Platea	001	20.000	91.548	40.000	6582.392	4	1
Platea n. 172	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.273	4	1
Platea n. 173	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.268	4	1
Platea n. 174	Platea	001	20.000	92.105	40.000	6662.817	4	1
Platea n. 175	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.746	4	1
Platea n. 176	Platea	001	20.000	91.114	40.000	6520.183	4	1
Platea n. 177	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 178	Platea	001	20.000	88.658	40.000	6173.468	4	1
Platea n. 179	Platea	001	20.000	95.670	40.000	7188.540	4	1
Platea n. 180	Platea	001	20.000	95.547	40.000	7170.116	4	1
Platea n. 181	Platea	001	20.000	94.230	40.000	6973.720	4	1
Platea n. 182	Platea	001	20.000	94.300	40.000	6984.182	4	1
Platea n. 183	Platea	001	20.000	94.371	40.000	6994.613	4	1
Platea n. 184	Platea	001	20.000	97.173	40.000	7416.175	4	1
Platea n. 185	Platea	001	20.000	92.085	40.000	6659.971	4	1
Platea n. 186	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.749	4	1
Platea n. 187	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.300	4	1
Platea n. 188	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.269	4	1
Platea n. 189	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 190	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 191	Platea	001	20.000	92.468	40.000	6715.468	4	1
Platea n. 192	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 193	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.268	4	1
Platea n. 194	Platea	001	20.000	93.775	40.000	6906.560	4	1
Platea n. 195	Platea	001	20.000	104.947	40.000	8650.231	4	1
Platea n. 196	Platea	001	20.000	94.898	40.000	7073.061	4	1
Platea n. 197	Platea	001	20.000	71.746	40.000	4042.857	4	1
Platea n. 198	Platea	001	20.000	94.528	40.000	7018.016	4	1
Platea n. 199	Platea	001	20.000	93.377	40.000	6848.110	4	1
Platea n. 200	Platea	001	20.000	69.575	40.000	3801.872	4	1
Platea n. 201	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.747	4	1
Platea n. 202	Platea	001	20.000	88.939	40.000	6212.606	4	1
Platea n. 203	Platea	001	20.000	88.939	40.000	6212.606	4	1
Platea n. 204	Platea	001	20.000	90.673	40.000	6457.273	4	1
Platea n. 205	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 206	Platea	001	20.000	71.350	40.000	3998.303	4	1
Platea n. 207	Platea	001	20.000	95.670	40.000	7188.540	4	1
Platea n. 208	Platea	001	20.000	72.311	40.000	4106.748	4	1
Platea n. 209	Platea	001	20.000	50.575	40.000	2008.929	3	1
Platea n. 210	Platea	001	20.000	50.575	40.000	2008.929	3	1
<b>Elemento n.</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Id.Strat.</b>	<b>Prof. Fon.</b>	<b>Base Eq.</b>	<b>Spessore</b>	<b>Lung. Eq.</b>	<b>Lung. Travata Eq.</b>	
Macro n. 1	Macro-Platea	001	20.000	424.000	40.000	1888.000	1888.000	

## 14. VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura. Le azioni trasmesse in fondazione, relative alle combinazioni di tipo sismico, non saranno amplificate in quanto determinate ipotizzando un comportamento non dissipativo.

La verifica nei confronti dello Stato Limite di Danno viene eseguita determinando il carico limite della fondazione per le corrispondenti azioni di SLD, impiegando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  di cui alla tabella 7.11.II.

N.B. La relazione è redatta in forma sintetica. Verranno riportati solo i casi maggiormente gravosi per ogni tipo di combinazione e le relative verifiche.

### Macro platea: 1

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLU STR**:

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.6970 daN/cm<sup>2</sup>

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.0000 + 0.3298 + 3.1040 + 0.0000

Qmax / Qlim = 0.5583 / 3.4338 = 0,163 Ok (Cmb. n. 002)

TB / TBlim = 0.1 / 83319.1 = 0,000 Ok (Cmb. n. 004)

TL / TLlim = 0.0 / 82600.4 = 0,000 Ok (Cmb. n. 004)

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	Ecc. B	Ecc. L	S. Taglio B	S. Taglio L	S. Normale	T.T. min	T.T. max
n.			cm	cm	daN	daN	daN	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
002	SLU STR	No	-0.203	0.001	-0.2	0.0	-298193.6	-0.1164	-0.5583
004	SLU STR	No	-0.195	0.001	-0.1	0.0	-236103.2	-0.0901	-0.4473

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLV A1 sism.**:

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.6970 daN/cm<sup>2</sup>

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.0000 + 0.1939 + 0.8244 + 0.0000

Qmax / Qlim = 1.0094 / 1.0183 = 0,991 Ok (Cmb. n. 014)

TB / TBlim = 52494.3 / 72903.4 = 0,720 Ok (Cmb. n. 007)

TL / TLlim = 52135.7 / 72374.5 = 0,720 Ok (Cmb. n. 036)

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	Ecc. B	Ecc. L	S. Taglio B	S. Taglio L	S. Normale	T.T. min	T.T. max
n.			cm	cm	daN	daN	daN	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
007	SLV A1	Si	-84.381	23.894	-52494.3	15727.8	-206868.9	0.1917	-0.8873
014	SLV A1	Si	83.837	-23.916	52493.9	-15482.5	-207066.0	0.0923	-1.0094
036	SLV A1	Si	-25.466	-79.932	-15748.3	-52135.7	-206937.3	0.3211	-1.2535

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLD sism.**:

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.6970 daN/cm<sup>2</sup>

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.0000 + 0.2734 + 1.9685 + 0.0000

Qmax / Qlim = 0.6174 / 2.2419 = 0,275 Ok (Cmb. n. 046)

TB / TBlim = 20318.7 / 72924.6 = 0,279 Ok (Cmb. n. 039)

TL / TLlim = 20180.1 / 72381.2 = 0,279 Ok (Cmb. n. 063)

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	Ecc. B	Ecc. L	S. Taglio B	S. Taglio L	S. Normale	T.T. min	T.T. max
n.			cm	cm	daN	daN	daN	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
039	SLD	Si	-32.795	9.246	-20318.7	6087.7	-206929.5	-0.0843	-0.5622
046	SLD	Si	32.317	-9.259	20318.5	-5992.7	-207005.7	-0.0803	-0.6174
063	SLD	Si	-10.002	30.937	-6095.6	20180.1	-206956.6	-0.0542	-0.7039

## 15. VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

### Elemento: Platea n. 1

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	Ecc. B	Ecc. L	S. Taglio B	S. Taglio L	S. Normale	T.T. min	T.T. max
n.			cm	cm	daN	daN	daN	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
070	SLE rare	No	-0.234	0.001	-0.1	0.0	-206967.7	-0.0874	-0.3698
071	SLE rare	No	-0.206	0.001	-0.1	0.0	-226391.3	-0.0893	-0.4215

Cedimento massimo = -0.203 cm in Cmb n. 071

Cedimento minimo = -0.047 cm in Cmb n. 070